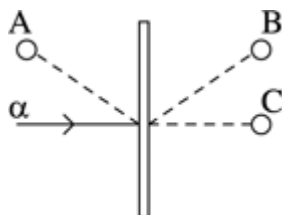


Jádro atomu

8.18 Při Rutherfordově pokusu, při němž bylo objeveno jádro atomu, byla tenká fólie zlata ostřelována částicemi α (jádra helia ${}^4_2\text{He}$). Určete nejmenší vzdálenost od jádra atomu zlata ${}^{200}_{79}\text{Au}$, do níž mohou částice α proniknout. Energie částic α je 0,4 MeV.

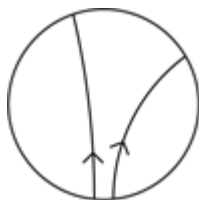
8.19 Rutherfordův pokus (viz úlohu 8.18) probíhal tak, že při ozařování fólie zlata byly na různá místa v okolí fólie umístovány detektory částic α . Na obr. 8-19 [8-3] jsou naznačeny tři možné polohy detektorů a v tabulce jsou uvedeny čtyři možné výsledky pozorování. Který výsledek odpovídá skutečnému průběhu Rutherfordova experimentu?



Obr. 8-19

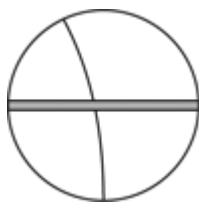
Experiment	Částice registrované detektorem		
	A	B	C
1	žádné	žádné	hodně
2	málo	více	hodně
3	žádné	více	hodně
4	hodně	žádné	málo

8.20 Na obr. 8-20 [8-4] jsou znázorněny stopy dvou částic s nábojem v mlžné komoře, která je umístěna v homogenním magnetickém poli. Určete znaménko náboje částic, jestliže vektor magnetické indukce je kolmý k vektorům rychlosti pohybu částic a míří za nákresnu.



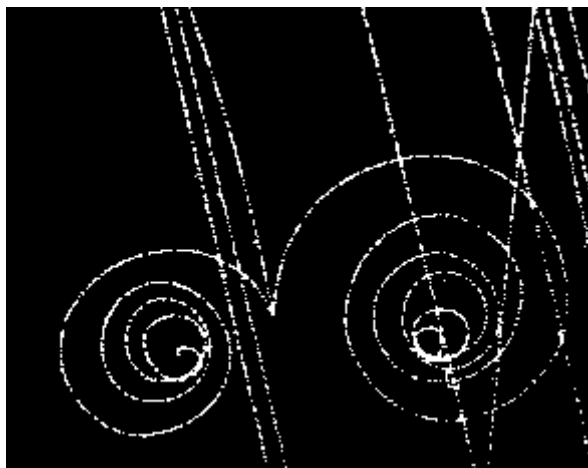
Obr. 8-20

8.21 Na obr. 8-21 [8-5] je stopa částice s kladným nábojem v mlžné komoře umístěné v homogenním magnetickém poli; vektor magnetické indukce míří za nákresnu. Komora je přepažena tenkou vrstvou olova, kterou částice prošla. Pohybovala se částice shora dolů, nebo opačným směrem?



Obr. 8-21

8.22 Na obr. 8-22 [8-6] je stopa elektronu (vlevo) a pozitronu (vpravo) v mlžné komoře umístěné v homogenním magnetickém poli. Jaký směr má vektor magnetické indukce? Proč má stopa tvar ploché spirály?



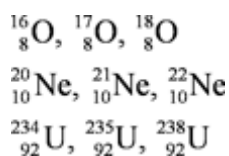
Obr. 8-22

8.23 Určete, jaké nukleony obsahuje jádro a) helia ${}^4_2\text{He}$, b) lithia ${}^7_3\text{Li}$, c) sodíku ${}^{23}_{11}\text{Na}$, d) železa ${}^{54}_{26}\text{Fe}$, e) uranu ${}^{235}_{92}\text{U}$.

8.24 Určete názvy chemických prvků, jejichž jádra mají složení:

a) $7p + 7n$, b) $9p + 10n$, c) $79p + 118n$, d) $82p + 126n$, e) $92p + 146n$.

8.25 Vyslovte společnou charakteristiku skupin nuklidů:



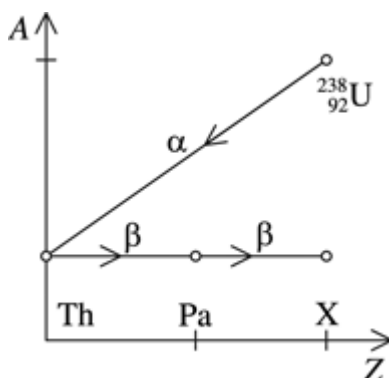
8.26 Plynný chlor je směs dvou izotopů ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ a ${}^{37}_{17}\text{Cl}$ a jeho poměrná atomová hmotnost je 35,5. Určete, v jakém poměru jsou v plynu oba izotopy zastoupeny.

8.27 Jak se změní protonové číslo Z a nukleonové číslo A nuklidu, jestliže se při jaderné reakci z jeho jádra uvolní a) částice α , b) částice β^- ?

8.28 Jak se změní protonové číslo Z , neutronové číslo N a nukleonové číslo A , jestliže jádro vyzáří:

a) proton, b) neutron, c) pozitron?

8.29 Postupné přeměny radionuklidů, které probíhají v přeměnových řadách, se znázorňují grafy. Část uranové-radiové řady je na obr. 8-29 [8-7]. Doplňte chybějící údaje.



Obr. 8-29

8.30 Při radioaktivní přeměně měl preparát polonia v počátečním okamžiku hmotnost 0,10 mg. Geigerův-Müllerův počítač zaregistroval $3 \cdot 10^{17}$ částic α vyzářených poloniem, přičemž se hmotnost preparátu zmenšila o 2 %. Určete hmotnost atomu helia.

8.31 Radionuklid uhlíku $^{14}_6\text{C}$ ve starém kousku dřeva představuje 0,0416 hmotnosti tohoto radionuklidu v živé dřevině. Určete přibližné stáří dřeva, jestliže poločas přeměny radionuklidu je 5 570 roků.

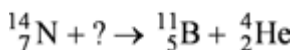
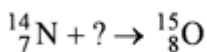
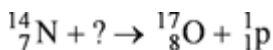
8.32 Radionuklid stříbra má poločas přeměny 20 min. Jaká část radionuklidu se přemění za 1 hodinu a za 2 hodiny?

8.33 Určete hmotnostní úbytky v kg a v násobcích atomové hmotnostní konstanty m_u u jader prvků: a) helium ^4_2He , b) lithium ^7_3Li , c) beryllium ^9_4Be .

[a) $m_{\text{He}} = 6,646 \cdot 10^{-27}$ kg, b) $m_{\text{Li}} = 11,525 \cdot 10^{-27}$ kg, c) $m_{\text{Be}} = 14,962 \cdot 10^{-27}$ kg]

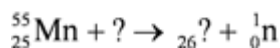
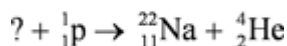
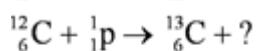
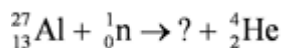
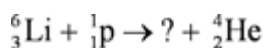
8.34 Určete vazebnou energii připadající na jeden nukleon u nuklidů v úloze 8.33 v jednotkách J a eV. Použijte výsledky řešení úlohy 8.33.

8.35 Jaderné reakce se rozlišují podle druhu částice, kterou je jádro atomu ostřelováno. Jaké částice jsou "střelami" v následujících jaderných reakcích:



8.36 Proč neutrony snadněji pronikají do jader atomů než ostatní částice?

8.37 Doplňte následující jaderné reakce:



8.38 Při ozařování nuklidu boru ${}^{11}_5\text{B}$ zářením α se z jádra uvolňují neutrony. Napište rovnici jaderné reakce.

8.39 Jádro atomu boru ${}^{11}_5\text{B}$ bylo ozařováno rychlými protony ${}^1_1\text{p}$. Pomocí mlžné komory bylo zjištěno, že přeměnou jádra atomu boru vznikají tři stejné částice, jejichž stopy jsou rozloženy symetricky do tří směrů. Určete, o jaké částice jde, a napište příslušnou rovnici jaderné reakce.

8.40 Jádro nuklidu ${}^7_3\text{Li}$ se po zachycení protonu rozpadá na dvě částice α . Určete celkovou kinetickou energii částic α . Kinetickou energii protonu neuvažujte.

8.41 V atmosféře Země neustále probíhají jaderné reakce, při nichž kosmické záření obsahující neutrony bombarduje jádra plynů v atmosféře. Při tom dochází k přeměně jader dusíku ${}^{14}_7\text{N}$ v radionuklid uhlíku ${}^{14}_6\text{C}$. Ten se dále rozpadá opět na dusík ${}^{14}_7\text{N}$. Napište rovnice příslušných jaderných reakcí.

8.42 Jádro uranu ${}^{238}_{92}\text{U}$ je počátečním radionuklidem přeměnové řady, jejímž posledním nuklidem je stabilní jádro olova ${}^{206}_{82}\text{Pb}$. Kolik přeměn α a β postupně proběhne?

8.43 Hmotnostní úbytek se často vyjadřuje v násobcích atomové hmotnostní konstanty m_u . Určete energii odpovídající hmotnostnímu úbytku $1m_u$.

8.44 Určete vazebnou energii připadající na jeden nukleon pro jádro atomu helia. Hmotnost atomu helia je $4,002\,603m_u$.

8.45 Vazebná energie jádra nuklidu beryllia ${}^9_4\text{Be}$ je $6,45\text{ MeV}$ na nukleon. Určete hmotnost jádra beryllia. Srovnajte vypočítanou hodnotu s poměrnou atomovou hmotností beryllia ($A_r = 9,012\,2$) a vysvětlete rozdíl obou hodnot.

8.46 V periodické soustavě prvků jsou vedle sebe tři radionuklidy ${}^A_Z\text{X}$, Y, Z. Přeměnou radionuklidu X vzniká radionuklid Y a přeměnou radionuklidu Y vzniká radionuklid Z, který se další přeměnou mění na izotop radionuklidu X. Popište přeměny a určete atomová a nukleonová čísla jednotlivých nuklidů. V přírodě takto probíhá např. přeměna radionuklidu ${}^{234}_{90}\text{Th}$ nebo ${}^{212}_{82}\text{Pb}$. Pomocí tabulky periodické soustavy prvků určete, které nuklidy těmito přeměnami vznikají.

8.47 Dva radionuklidy X a Y mají poločasy přeměny 50 min a 100 min . Určete, v jakém poměru budou počty nepřeměněných jader obou radionuklidů po uplynutí 200 min od počátečního okamžiku, v němž měly oba radionuklidy stejný počet nepřeměněných jader.

8.48 Při přeměně radionuklidu radia Ra vzniká nuklid radonu a záření α . Poměrná atomová hmotnost radia je 225,98, radonu 221,97 a helia 4,002 6. Určete energii, která se při radioaktivní přeměně uvolní.

8.49 Vzorek horniny o hmotnosti 10 g obsahuje 3 % draslíku, v němž je obsaženo 0,012 % přirozeného radionuklidu $^{40}_{19}\text{K}$. Poločas přeměny tohoto radionuklidu je $1,3 \cdot 10^9$ roků. Určete aktivitu vzorku horniny.

8.50 Aktivita radionuklidu poklesla za 8 dní na 1/4. Určete poločas přeměny radionuklidu a jeho přeměnovou konstantu.

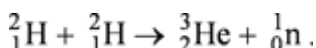
8.51 Radionuklid bizmutu $^{212}_{83}\text{Bi}$ vyzařuje záření α . Měřením na vzorku o hmotnosti 0,05 g bylo za 7 s zaregistrováno $1,89 \cdot 10^{17}$ přeměn. Určete: a) aktivitu vzorku, b) přeměnovou konstantu a poločas přeměny radionuklidu $^{212}_{83}\text{Bi}$.

8.52 Při řetězové reakci uranu $^{235}_{92}\text{U}$ se jádro štěpí na dva fragmenty: xenon $^{140}_{54}\text{Xe}$, stroncium $^{94}_{38}\text{Sr}$ a určitý počet neutronů. a) Napište rovnici štěpné reakce. b) Určete energii, která se při štěpné reakci uvolní. c) Určete rychlost uvolněných elektronů, jestliže jejich energie je rovna 3 % uvolněné energie. Vazebná energie na jeden nukleon je u uranu 7,5 MeV, u xenonu 8,2 MeV a u stroncia 8,5 MeV.

8.53 Štěpná jaderná reakce může probíhat také tak, že po zachycení neutronu jádrem uranu $^{235}_{92}\text{U}$ vzniknou dva fragmenty: $^{139}_{53}\text{I}$ a $^{94}_{39}\text{Y}$. Kolik neutronů při štěpení uranu vznikne?

8.54 Kolik jader uranu $^{235}_{92}\text{U}$ se musí rozštěpit za 1 s, aby ideální výkon jaderného reaktoru byl 1 W? Rozštěpením jednoho jádra se uvolní energie přibližně 200 MeV.

8.55 Reakce jaderné fúze dvou jader deuteria je popsána rovnicí



Určete energii, která se při jaderné fúzi uvolní. Poměrná atomová hmotnost deuteria je $A_{\text{rD}} = 2,014$, helia $A_{\text{rHe}} = 3,016$ a neutronu $A_{\text{rn}} = 1,008 7$. Kolik energie bychom získali jadernou fúzí deuteria o hmotnosti 4 g? Zhodnoťte výsledek z hlediska reálného využití.

Řešení

R8.18 $Q_{\text{He}} = 2e = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $Q_{\text{Au}} = 79e = 126,4 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $E = 0,4 \cdot 10^6 \text{ eV} = 6,4 \cdot 10^{-14} \text{ J}$; $r = ?$

Ostřelování zlata částicemi α si můžeme představit jako soustavu nepohyblivého jádra atomu zlata s elektrickým nábojem Q_{Au} , ke kterému se z velké vzdálenosti přibližuje částice α s nábojem Q_{He} . Při tom se vykoná práce

$$W = Q_{\text{He}}(\varphi_1 - \varphi_2),$$

kde φ_1 je potenciál ve velké vzdálenosti od atomu zlata ($\varphi_1 = 0$) a φ_2 je potenciál v nejmenší vzdálenosti od jádra. Elektrické pole jádra atomu zlata můžeme považovat za pole bodového náboje, v němž pro potenciál ve vzdálenosti r od jádra platí

$$\varphi_2 = -\frac{Q_{\text{Au}}}{4\pi\epsilon_0 r}.$$

Znaménko – vyjadřuje, že práci konají vnější síly na úkor kinetické energie E částice α , takže $W = Q_{\text{He}}\varphi_2 = -E$. Po dosazení a úpravě dostaneme pro nejmenší vzdálenost, do níž se částice α přiblíží k jádru atomu zlata:

$$r = \frac{Q_{\text{He}}Q_{\text{Au}}}{4\pi\epsilon_0 E} = 5,7 \cdot 10^{-13} \text{ m}$$

R8.19 Skutečnému průběhu Rutherfordova experimentu odpovídá experiment 2.

R8.20 Zakřivení trajektorie s kladným nábojem určíme Flemingovým pravidlem levé ruky, částice se záporným nábojem se odchýlí na opačnou stranu. Vlevo se vychýlila částice s kladným nábojem a vpravo částice se záporným nábojem.

R8.21 Částice při průchodu vrstvou olova ztrácí část energie a ve druhé části komory se pohybuje menší rychlostí. Tomu odpovídá větší zakřivení trajektorie částice. Částice se pohybovala zdola nahoru.

R8.22 Směr vektoru magnetické indukce určíme pomocí Flemingova pravidla levé ruky, které použijeme u trajektorie pozitronu. Vektor $\mathbf{B}$ magnetické indukce míří před nákresnu.

Poloměr r trajektorie částice, která má hmotnost m a náboj Q , závisí na rychlosti v částice:

$$r = \frac{mv}{QB}$$

Poněvadž při pohybu v mlžné komoře částice postupně ztrácí svoji kinetickou energii, rychlost částice se zmenšuje a tomu odpovídá postupné zmenšování poloměru trajektorie, která má tvar spirály.

R8.23 $Z = ?$, $N = ?$

Počet protonů v jádře atomu určuje protonové číslo Z , počet neutronů určuje neutronové číslo N , které určíme z nukleonového čísla $A = Z + N$.

a) ${}^4_2\text{He}$	$Z = 2, N = 2$
b) ${}^7_3\text{Li}$	$Z = 3, N = 4$
c) ${}^{23}_{11}\text{Na}$	$Z = 11, N = 12$
d) ${}^{54}_{26}\text{Fe}$	$Z = 26, N = 28$
e) ${}^{235}_{92}\text{U}$	$Z = 92, N = 143$

R8.24

a) $7p + 7n: Z = 7, A = 14$	${}^{14}_7\text{N}$
b) $9p + 10n: Z = 9, A = 19$	${}^{19}_9\text{F}$
c) $79p + 118n: Z = 79, A = 197$	${}^{197}_{79}\text{Au}$
d) $82p + 126n: Z = 82, A = 208$	${}^{208}_{82}\text{Pb}$
e) $92p + 146n: Z = 92, A = 238$	${}^{238}_{92}\text{U}$

R8.25 Všechny nuklidy určitého prvku mají stejné protonové číslo a různé nukleonové číslo. Jsou to izotopy.

R8.26 ${}^{35}_{17}\text{Cl}$, ${}^{37}_{17}\text{Cl}$, $m_a = 35,5$; $x : y = ?$

$$x \cdot 35 + y \cdot 37 = 35,5$$

$$x + y = 1$$

$$2y = 0,5$$

$$y = 0,25$$

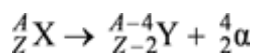
$$x = 0,75$$

$$x : y = 3 : 1$$

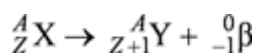
Izotopy jsou v plynu zastoupeny v poměru 3 : 1.

R8.27

a) částice α

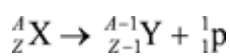


b) částice β^-

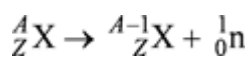


R8.28

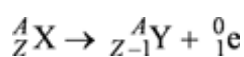
a) proton



b) neutron



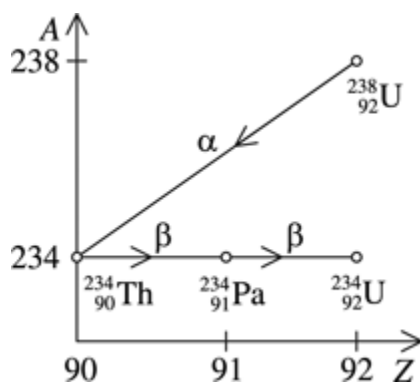
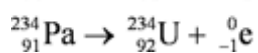
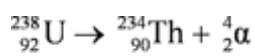
c) pozitron



	Z	N	A
a	-1	nezmění se	-1
b	nezmění se	-1	-1
c	-1	nezmění se	nezmění se

Obr. R8-28

R8.29 Viz obr. R8-29 [V8-1].



Obr. R8-29

R8.30 $m_{\text{Po}} = 0,10 \text{ mg} = 10^{-7} \text{ kg}$, $n = 3 \cdot 10^7$ (částice α), $\Delta m = 0,02m_{\text{Po}}$; $m_{\text{He}} = ?$

$$m_{\text{He}} = \frac{\Delta m}{n} = \frac{0,02m_{\text{Po}}}{n} \approx 6,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

R8.31 $m = 0,0416m_0$, $T = 5\,570 \text{ r}$; $t = ?$

Jestliže v počátečním okamžiku je počet jader radionuklidu N_0 , pak v čase t je počet nepřeměněných jader

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

kde λ je přeměnová konstanta, která s poločasem přeměny T souvisí vztahem $\lambda = \ln 2/T$.

Zjištěnému poklesu hmotnosti radionuklidu $^{14}_6\text{C}$ ve dřevě odpovídá také poměr N/N_0 . Najdeme přirozený logaritmus tohoto poměru a po úpravě ze vztahu (1) dostaneme:

$$t = -\frac{\left(\ln \frac{N}{N_0}\right)T}{\ln 2}$$

Po dosazení dostaneme pro stáří dřeva přibližnou hodnotu 25 600 roků.

R8.32 $T = 20 \text{ min} = 1\,200 \text{ s}$, $t_1 = 1 \text{ h} = 3T$, $t_2 = 2 \text{ h} = 6T$; $N_1 = ?$, $N_2 = ?$

$$N = N_0 e^{-\lambda T}, \quad \lambda = \ln 2/T$$

$$N_1 = N_0 e^{-\ln 2 \cdot 3} = N_0 (0,5)^3 = 0,125 N_0 = \frac{N_0}{8}$$

N_1 je počet nepřeměněných jader, přeměnilo se 7/8 počátečního počtu jader.

$$N_2 = N_0 (0,5)^6 = 0,0156 N_0 = \frac{N_0}{64}$$

Přeměnilo se 63/64 počátečního počtu jader.

R8.33 a) ^4_2He , $m_{\text{He}} = 6,646 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, b) ^7_3Li , $m_{\text{Li}} = 11,525 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, c) ^9_4Be , $m_{\text{Be}} = 14,962 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $B = ?$

$$B = Zm_p + Nm_n - m_j$$

$$\text{a) } B_{\text{He}} = 2m_p + 2m_n - m_{\text{He}} = 0,050 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 0,0301 m_u$$

$$\text{b) } B_{\text{Li}} = 3m_p + 4m_n - m_{\text{Li}} = 0,194 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 0,1168 m_u$$

$$\text{c) } B_{\text{Be}} = 4m_p + 5m_n - m_{\text{Be}} = 0,105 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 0,0633 m_u$$

R8.34 $B_{\text{He}} = 0,050 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, $B_{\text{Li}} = 0,194 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, $B_{\text{Be}} = 0,105 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $\epsilon_j = ?$

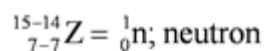
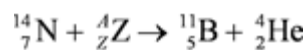
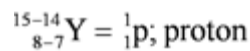
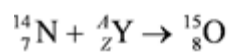
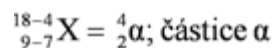
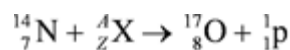
$$\varepsilon_j = \frac{Bc^2}{A}$$

$$\varepsilon_{j\text{He}} = \frac{B_{\text{He}}c^2}{4} = 1,13 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 7,03 \text{ MeV}$$

$$\varepsilon_{j\text{Li}} = \frac{B_{\text{Li}}c^2}{7} = 2,49 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 15,58 \text{ MeV}$$

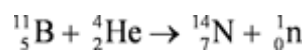
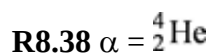
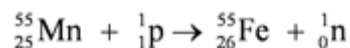
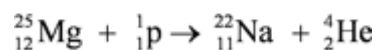
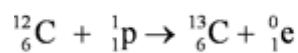
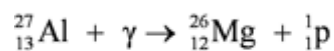
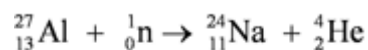
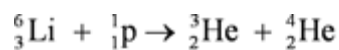
$$\varepsilon_{j\text{Be}} = \frac{B_{\text{Be}}c^2}{9} = 1,05 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 6,57 \text{ MeV}$$

R8.35

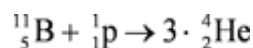


R8.36 Neutrony nemají elektrický náboj, proto na ně nepůsobí kladně nabitě jádro atomu elektrickou odpudivou silou.

R8.37

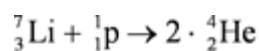


R8.39



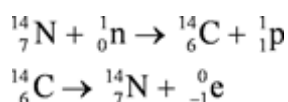
Při rozpadu jádra boru vznikají částice záření α .

R8.40 $m_{\text{Li}} = 11,525 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, $m_{\text{p}} = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, $m_{\text{He}} = 6,646 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $E_{\text{k}} = ?$

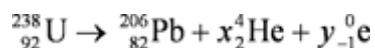


$$B = m_{\text{Li}} + m_{\text{p}} - 2m_{\text{He}} = -9,4 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

$$E_{\text{k}} = Bc^2 = 8,5 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 53 \text{ MeV}$$

R8.41

R8.42 Pro celkovou přeměnu uranu na olovo můžeme napsat rovnici:



Pro atomová a nukleonová čísla současně platí:

$$92 = 82 + x \cdot 2 - y$$

a

$$238 = 206 + x \cdot 4$$

Řešením těchto rovnic dostaneme $x = 8$ a $y = 6$. To znamená, že uran se mění v olovo postupně probíhajícími osmi přeměnami α a 6 přeměnami β .

R8.43 $B = 1m_u = 1,661 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $E = ?$

$$E = m_u c^2 = 1,49 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 934 \text{ MeV}$$

R8.44 $m_{\text{He}} = 4,002\,603m_u$; $\varepsilon_j = ?$

Jádro helia je tvořeno dvěma protony a dvěma neutrony. Pro hmotnost těchto částic vyjádřenou v násobcích atomové hmotnostní konstanty m_u najdeme v tabulkách:

$$m_p = 1,007\,27m_u, \quad m_n = 1,008\,66m_u$$

Hmotnostní úbytek jádra helia činí:

$$B = (2m_p + 2m_n) - m_{\text{He}} = 0,029\,26m_u$$

Tomu odpovídá celková vazebná energie jádra helia $E_j = Bc^2$ a energie připadající na jeden nukleon ε_j je $\varepsilon_j = E_j/A$, kde A je nukleonové číslo (pro helium $A = 4$). Vazebná energie se zpravidla určuje v jednotkách eV. Pro výpočet proto využijeme poznatek, že hmotnostnímu úbytku $1m_u$ odpovídá energie $m_u c^2 \approx 931 \text{ MeV}$.

Vazebnou energii připadající na jeden nukleon v jádře helia tedy vypočítáme pomocí vztahu:

$$\varepsilon_j = \frac{Bc^2}{A} = 6,8 \text{ MeV}$$

R8.45 ${}^9_4\text{Be}$ ($Z = 4$, $A = 9$), $\varepsilon_j = 6,45 \text{ MeV}$, $A_r = 9,012\,2$; $m_{\text{jBe}} = ?$

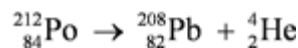
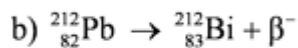
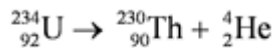
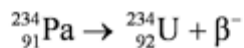
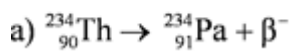
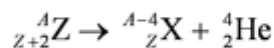
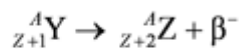
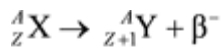
$$\varepsilon_j = \frac{Bc^2}{A} = \frac{(4m_p + 5m_n - m_{\text{jBe}})c^2}{A}$$

$$m_{\text{jBe}} = 4m_p + 5m_n - \frac{\varepsilon_j A}{c^2} = 1,496 \cdot 10^{-26} \text{ kg} = 9,010 \text{ } 1m_u$$

$$A_r - m_j = 0,002 \text{ } 1m_u$$

Rozdíl je způsoben hmotností elektronů.

R8.46 ${}_Z^AX, Y, Z$



R8.47 $T_X = 50 \text{ min}$, $T_Y = 100 \text{ min}$, $t = 200 \text{ min} = 4T_X = 2T_Y$; $N_X : N_Y = ?$

$$N_X = N_0 e^{-\lambda_X t} = N_0 e^{-\ln 2 t / T_X}$$

$$N_Y = N_0 e^{-\lambda_Y t} = N_0 e^{-\ln 2 t / T_Y}$$

Pro podíl N_X/N_Y po úpravě platí:

$$\frac{N_X}{N_Y} = \frac{(0,5)^{\frac{t}{T_X}}}{(0,5)^{\frac{t}{T_Y}}} = (0,5)^2 = \frac{1}{4}$$

R8.48 $\text{Ra} \rightarrow \text{Rn} + \alpha$, $m_{\text{Ra}} = 225,98$, $m_{\text{Rn}} = 221,97$, $m_{\text{He}} = 4,002 \text{ } 6$; $E = ?$

$$E = [m_{\text{Ra}} - (m_{\text{Rn}} + m_{\text{He}})]c^2 = 1,104 \text{ } 4 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 6,89 \text{ MeV}$$

R8.49 $m = 0,01 \text{ kg}$, $m_K = 0,03m$, $m_{K^*} = 1,2 \cdot 10^{-4} m_K$, $T = 1,3 \cdot 10^9 \text{ r}$; $A = ?$

Aktivita je určena vztahem $A = \lambda N$, kde λ je přeměnová konstanta, pro kterou platí $\lambda = \ln 2/T$.

Počet jader radionuklidu ve vzorku je dán podílem

$$N = \frac{m_K}{A_r m_u} = \frac{0,01 \cdot 0,03 \cdot 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ kg}}{40 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} = 5,42 \cdot 10^{17}$$

Poněvadž rok má $365,25 \cdot 24 \cdot 3 \text{ } 600 \text{ s} = 3,16 \cdot 10^7 \text{ s}$, je přeměnová konstanta draslíku ${}_{19}^{40}\text{K}$:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{1,3 \cdot 10^9 \cdot 3,16 \cdot 10^7 \text{ s}} = 1,69 \cdot 10^{-17} \text{ s}^{-1}$$

Dosazením do vztahu pro aktivitu dostaneme

$$A = 1,69 \cdot 10^{-17} \cdot 5,42 \cdot 10^{17} \text{ Bq} = 9,2 \text{ Bq.}$$

$$\mathbf{R8.50} \quad A = 1/4 A_0, t = 8 \text{ d}; T = ?, \lambda = ?$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\ln 2 \frac{t}{T}}$$

$$A(t) = A_0 (0,5)^{\frac{t}{T}} = \frac{1}{4} A_0 \Rightarrow \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} = \left(\frac{1}{2}\right)^2$$

$$\frac{t}{T} = 2 \Rightarrow T = \frac{t}{2} = 4 \text{ d} = 3,5 \cdot 10^5 \text{ s}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} \approx 2 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

$$\mathbf{R8.51} \quad {}^{212}_{83}\text{Bi} \rightarrow ? + \alpha, m = 0,05 \text{ g} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ kg}, t = 7 \text{ s}, n = 1,89 \cdot 10^{17}; \text{a) } A = ?, \text{ b) } \lambda = ?, T = ?$$

$$\text{a) } A = \frac{n}{t} = 2,7 \cdot 10^{16} \text{ Bq}$$

$$\text{b) } N_0 = \frac{m}{A_r m_u} = 1,4408 \cdot 10^{20}$$

$$N(t) = N_0 - n = 1,4389 \cdot 10^{20}$$

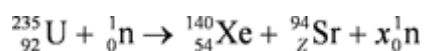
$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow e^{-\lambda t} = \frac{N(t)}{N_0}$$

$$\lambda = -\frac{\ln \frac{N(t)}{N_0}}{t} = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = 3648,1 \text{ s} = 60,8 \text{ min}$$

$$\mathbf{R8.52} \quad \varepsilon_{\text{U}} = 7,5 \text{ MeV}, \varepsilon_{\text{Xe}} = 8,2 \text{ MeV}, \varepsilon_{\text{Sr}} = 8,5 \text{ MeV}, E_n = 0,03 \text{ eV}; E = ?, v_n = ?$$

a) Rovnici štěpné jaderné reakce napíšeme ve tvaru:

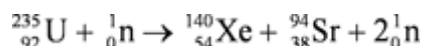


Ze zákonů zachování náboje a počtu nukleonů vyplývá:

$$235 + 1 = 140 + 94 + x$$

$$92 + 0 = 54 + Z + 0$$

a odtud najdeme $x = 2$ a $Z = 38$. Úplná rovnice štěpné reakce tedy bude mít tvar:



b) Celkovou uvolněnou energii určíme z rozdílu vazebných energií jader, která se štěpné reakce zúčastní. Poněvadž uran má 235 nukleonů, je vazebná energie E_1 jeho jádra

$$E_1 = 235 \cdot 7,5 \text{ MeV} = 1,76 \cdot 10^3 \text{ MeV}.$$

Podobně určíme vazebnou energii jader xenonu a stroncia a vypočítáme jejich součet E_2 :

$$E_2 = (140 \cdot 8,2 + 94 \cdot 8,5) \text{ MeV} = 1,95 \cdot 10^3 \text{ MeV}$$

Rozdíl obou energií odpovídá energii E uvolněné při štěpné reakci:

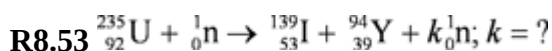
$$E = E_2 - E_1 = (1,95 - 1,76) \cdot 10^3 \text{ MeV} = 185 \text{ MeV}$$

c) Poněvadž při štěpné reakci vznikly dva neutrony, připadá na každý neutron energie $E_n = 0,03E/2 = 2,77 \text{ eV} = 4,43 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. Rychlost neutronu pak vypočítáme ze vztahu

$$v_n = \sqrt{2E_n / m_n},$$

kde m_n je hmotnost neutronu ($m_n = 1,674 \, 95 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$). Po dosazení pro rychlost neutronu vychází

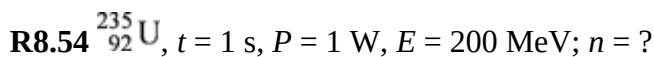
$$v_n = 2,3 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$



$$235 + 1 = 139 + 94 + k$$

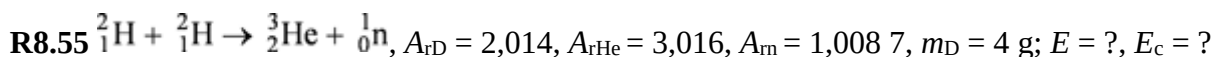
$$k = 3$$

Při štěpení uranu vzniknou 3 neutrony.



$$n = \frac{P}{P_j} = \frac{P}{\frac{E}{t}} = \frac{Pt}{E} = 3 \cdot 10^{10}$$

P_j je výkon připadající na přeměnu 1 jádra uranu.



$$E = [2A_{\text{rD}} - (A_{\text{rHe}} + A_{\text{rn}})]m_{\text{u}}c^2 = 4,925 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 3,1 \text{ MeV}$$

Ve vzorku o hmotnosti 4 g je n jader:

$$n = \frac{m}{A_{\text{rD}}m_{\text{u}}} = 1,19 \cdot 10^{24}$$

E (MeV) 2 jádra D

E_{c} (MeV) n jader D

$$E_c = \frac{n}{2} E = 1,85 \cdot 10^{24} \text{ MeV} \approx 3 \cdot 10^{11} \text{ J}$$